Vol.11, No.3, Fall 2022, pp.43-65 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE **DOI:10.22067/geoeh.2022.74930.1160** **Open access**

Investigating the Relationship between Karst Landforms and Tectonic Structures in the Tamtaman Nazlo Chai Area, Northwest of Urmia

Reza AbbasianValandar[a], Shahram Roostaei[b*], Davood Mokhtari[b]

[a] *PhD Candidate in Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

[b] *Professor in Geomorphology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

Received: 25 December 2021 ***Revised: 10 February 2022*** ***Accepted: 18 February 2022***

Abstract

The results of studies conducted in this regard show that the climate of the region is semi-arid and cold, and its rainfall regime is in the Mediterranean. Its geomorphology is young and its topography is directly related to geological structures, i.e., most folds and fractures make up the heights. The lithology of the formation, along with the action of tectonic processes that have led to the dissolution and creation of joints and cracks in the rocks, has provided the necessary conditions for the formation of less developed karst forms. The region's most significant karst forms are Karen, pinnacles, channels, dissolution doline and dissolution cavities, karst springs, and caves that have spread along joints, cracks, and faults and indicate the connection between these landforms and the region's tectonic structures. In this study, to find out the relationship between tectonics and karst formation, the dip and strikes of fractures (joints and faults) were measured in 7 areas. The results obtained from field studies and their comparison with the data contained in remote sensing documents show that the direction of most joints in the region is consistent with the direction of faults. It has also been found that more Karst landforms have formed along these joints. On the other hand, most of the valleys are consistent with the geological structures of the region, i.e., faults and folds. Therefore, tectonics has played an effective role in creating Karst landforms and their hazards in the region. According to the rockfall risk zoning map, 3.77% of the total area is in the high-risk zone.

Keywords: Karst Landforms, Tectonic Structures, Risk Zoning, Tamtaman Cave, Nazlo Chai Urmia

---

[*]. Corresponding author: Shahram Roostaei E-mail: roostaei@tabrizu.ac.ir Tel: + 989143134410

How to cite this Article: Abbasian Valandar, R., Roostaei, S., & Mokhtari, D. (2022). Investigating the relationship between Karst landforms and tectonic structures in the Tamtaman Nazlo Chai area, northwest of Urmia. *Journal of Geography and Environmental Hazards, 11*(3), 43-65.
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74930.1160

Geography and Environmental Hazards
Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74930.1160

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارۀ چهل و سوم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۶۵-۴۳
مقاله پژوهشی

بررسی رابطه اشکال کارستی و ساختارهای تکتونیکی محدودۀ تمتمان نازلوچای، شمال غرب ارومیه

رضا عباسیان ولندر – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکدۀ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
شهرام روستایی[۱]– استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکدۀ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
داود مختاری – استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکدۀ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

چکیده

نتایج حاصل از بررسی منطقه محدودۀ تمتمان نازلوچای، شمال غرب ارومیه، نشان می‌دهد اقلیم منطقه نیمه‌خشک و سرد بوده و رژیم بارش آن مدیترانه‌ای است. ژئومورفولوژی آن جوان و توپوگرافی‌اش رابطه مستقیم با ساختارهای زمین‌شناسی دارد؛ یعنی اغلب چین‌ها و شکستگی‌ها ارتفاعات را می‌سازند. سنگ‌شناسی سازند همراه با عملکرد فرآیندهای تکتونیکی که منجر به انحلال و ایجاد درزه و شکاف در سنگ‌ها شده است، شرایط لازم را جهت تشکیل اشکال نه‌چندان تکامل‌یافته کارستی فراهم کرده است. مهم‌ترین اشکال کارستی منطقه عبارتند از کارن، پیناکل‌ها، کانال‌ها و دولین انحلالی و حفرات انحلالی، چشمه‌های کارستی و غارها که در امتداد درزه و شکاف‌ها و گسل‌ها گسترش یافته‌اند و بیانگر ارتباط بین این اشکال و ساختارهای تکتونیکی منطقه هستند. در این تحقیق به‌منظور پی بردن به ارتباط بین تکتونیک و کارست‌زایی، اقدام به اندازه‌گیری شیب و امتداد شکستگی‌ها (درزه‌ها و گسل‌ها) در ۷ ناحیه شده است. نتایج به دست آمده از بررسی‌های صحرایی و مقایسه آن‌ها با اطلاعات موجود در اسناد سنجش‌ازدور نشان می‌دهد جهت غالب درزه‌ها در منطقه با جهت گسل‌ها انطباق دارد. همچنین مشخص شده است که اشکال

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۳۱۳۴۴۱۰ Email: roostaei@tabrizu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:
عباسیان ولندر، رضا؛ روستایی، شهرام؛ مختاری، داود. (۱۴۰۱). بررسی رابطه اشکال کارستی و ساختارهای تکتونیکی محدوده تمتمان نازلو چای، شمال غرب ارومیه. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۳).صص ۶۵-۴۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74930.1160

کارستی بیشتر در امتداد همین درزه‌ها به وجود آمده است. از طرف دیگر قسمت اعظم دره‌ها با ساختارهای زمین‌شناسی منطقه، یعنی گسل‌ها و چین‌ها نیز همخوانی دارد. بنابراین تکتونیک نقش مؤثری در ایجاد اشکال کارستی و مخاطرات آن در منطقه داشته است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی مخاطرات ریزش سنگ تولید شده، ۳/۷۷ درصد از کل منطقه در محدودهٔ خطر بالا قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: اشکال کارستی، ساختارهای تکتونیکی ، پهنه‌بندی مخاطرات، غار تمتمان، نازلو چای ارومیه.

۱- مقدمه

کارست پدیده‌ای پیچیده و منحصربه‌فرد است که از شواهد ژئومورفولوژیکی ویژه‌ای برخوردار است و آن را از سایر پدیده‌های زمین‌شناسی و مورفولوژیکی متمایز می‌سازد. توسعهٔ کارست که به‌عنوان کارست‌زایی نامیده می‌شود در نتیجهٔ انحلال سنگ‌هایی مانند دولومیت، ژیپس، نمک و دیگر سنگ‌های انحلال‌پذیر ایجاد می‌گردد و چشم‌اندازی با سطوح سنگی شیاردار و حفره‌دار، چاله‌های کارستی، چشمه‌ها، سیستم زهکشی زیرسطحی و غارها ایجاد می‌کند (اسپرینگ فیلد و همکاران، ۱۹۷۹[1]). اولین مطالعات کارست در ایران از سال ۱۳۵۰ در حوضه‌های کارستی زاگرس آغاز شده است، اما مطالعات جامع از سال ۱۳٦۹ با تأسیس مرکز مطالعات و پژوهش‌های کارست در شیراز آغاز گردید (افراسیابیان، ۱۳۷۷). به‌عنوان‌مثال، به‌منظور پی بردن به ارتباط بین تکتونیک و کارست‌زایی در حوضهٔ رودخانهٔ کارده، نتایج به دست آمده از بررسی‌های صحرایی و مقایسهٔ آن با سنجش از راه دور نشان می‌دهد که جهت غالب درزه‌ها در منطقه با جهت گسل‌ها انطباق دارد و تکتونیک نقش اساسی در ایجاد اشکال کارستی در منطقه داشته است (ولایتی و خانعلی زاده، ۱۳۹۰). در مطالعه‌ای که دربارهٔ نقش عوامل ساختاری در ظهور چشمه‌ها در منطقهٔ ایذه موردبررسی قرار گرفت، مشخص شد ارتباط نزدیکی بین عناصر تکتونیکی با فراوانی چشمه‌ها وجود دارد؛ به‌طوری‌که چشمه‌ها در فاصلهٔ ۰ تا ۲۳۸۹ متری از عناصر تکتونیکی و در اطراف گسل‌های با طول ۳ تا ۹ کیلومتری است (بوسلیک و همکاران، ۱۳۹۱).

ارتباط کارست و شکستگی‌های منطقه پابده مورد مطالعه قرار گرفت و توسعهٔ کارست در منطقه تحت تأثیر عوامل مختلفی از قبیل شکستگی‌ها و تکتونیک می‌باشد و همچنین شکستگی‌ها بر اساس مطالعات صحرایی و تکنیک‌های سنجش از راه دور روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ شناسایی و به‌صورت رقومی ترسیم شد در این مطالعه ارتباط دولین‌ها با شکستگی‌های غالب در منطقه محرز بوده است (پیراسته، ۱۳۸۵). آسیب شدید و پیچیدگی ساختاری در مناطق فعل‌وانفعال گسل‌ها می‌تواند پیامدهای مهمی بر جریان سیالات داشته باشد، که منجر به نفوذپذیری بیشتر و مهاجرت چند جهتهٔ مایعات ازجمله هیدروکربن‌ها، CO_2، آب‌های زیرزمینی و مایعات

1 (Springfield, Rapp, & Anders, 1979)

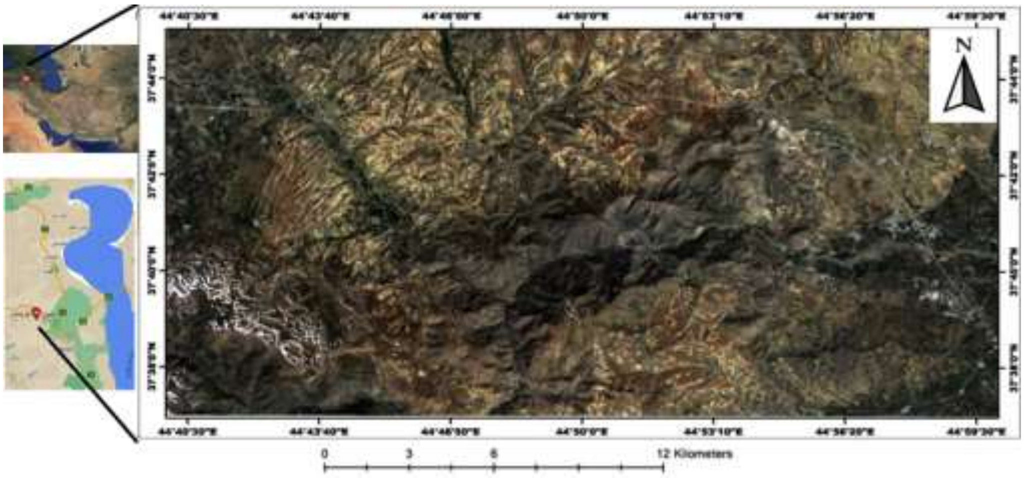
هیدروترمال می‌شود (سیبسون، ١٩٩٦[1]؛ کورویتز و کارسون، ١٩٩٧[2]؛ رولند و سیبسون، ٢٠٠٤[3]؛ روتون و همکاران، ٢٠٠٩[4]؛ راک ریل و شیپتون، ٢٠١٠[5]؛ فوسن و روتون، ٢٠١٦[6]). تنوع در جهت‌گیری‌های ساختاری فرعی، ازجمله درزه‌ها و گسل‌های طبیعی که به‌صورت متعامد به بخش‌های اصلی گسل برخورد می‌کنند (کتن هورن و همکاران، ٢٠٠٠[7]؛ سیفتچی و بوزکورت، ٢٠٠٧[8])، می‌تواند برای مهاجرت مایعات بسیار مهم باشد، و احتمال بروز آن را افزایش دهد. در این منطقه علاوه بر مطالعهٔ چشم‌اندازها و مورفولوژی مناطق کارستی؛ تنش‌های اصلی σ_1, σ_2 و σ_3 منطقه و ساختارهای تکتونیکی را در ارتباط با پدیدهٔ کارست‌زایی و به‌موجب آن با بررسی مخاطرات منطقه تمتمان پرداخته‌ایم. به‌منظور بررسی ارتباط تکتونیک با چشم‌اندازهای کارستی، ایستگاه‌های مطالعاتی در محدوده، برای اندازه‌گیری شیب و امتداد گسل‌ها و تعیین جهات میدان تنش تکتونیکی تعیین نمودیم. گسیختگی تکتونیکی سنگ‌ها اطلاعات ارزشمندی درباره میدان تنشی که آن‌ها را ایجاد کرده و در مورد جهت‌های میدان فعال ارائه می‌دهد. شگفت‌انگیزترین کاربرد تحلیل سیستم‌های شکستگی در مناطق کارستی به‌عنوان محصول تنش تکتونیکی، شناسایی جهات مناسب افزایش نفوذپذیری در استخراج منابع آب و حتی میادین نفت و گاز است. در این مطالعه با استفاده از روش نیکالائف[9] (١٩٧٧) به‌صورت سنتی و یا از طریق نرم‌افزار (وین تنسور[10]) جهت‌های تنش در ایستگاه‌های مختلف را تعیین کردیم و درنهایت به بررسی ارتباط بین تکتونیک، اشکال کارستی و وجود مخاطرات پرداختیم.

٢- موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

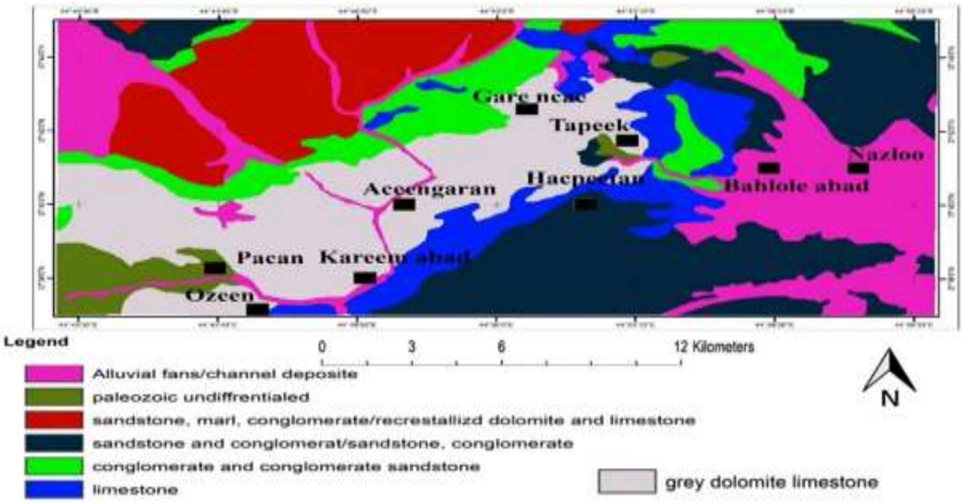
منطقهٔ تمتمان در مسیر جادهٔ ارتباطی ارومیه به سرو در کنار پل رودخانهٔ نازلوچای، راه آسفالته‌ای به سمت روستای تمتمان و میر داوود کشیده شده است که از توابع دهستان نازلوچای جنوبی بخش نازلو به مختصات؛ ٤٤ درجه و ٤٠ دقیقه تا ٤٥ درجهٔ طول شرقی و ٣٧ درجه و ٣٧ دقیقه تا ٣٧ درجه و ٤٥ دقیقهٔ عرض شمالی محسوب می‌شوند (شکل ١). اگر به عکس‌های هوایی و یا نقشه زمین‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه نگاهی انداخته شود، پیدا و آشکار می‌شود که نهشته‌های آهکی- آهک دولومیتی پرمین با صخره‌های عظیمی که رودخانه را در برگرفته از درون پنجره‌ای که در میان آهک‌ها و فلیش‌های الیگو- میوسن باز شده است، نمایان گردیده‌اند. رسوبات پرمین با گسترش زیادی، چه از نظر سطح پوشش و چه از نظر ضخامت ستون چینه‌ای در منطقهٔ مورد مطالعه حضور پیدا می‌کند.

1 (Sibson, 1996)
2 (Curewitz & Karson, 1997)
3 (Rowland & Sibson, 2004)
4 (Rotevatn, Buckley, Howell, & Fossen, 2009)
5 (Dockrill & Shipton, 2010)
6 (Fossen & Rotevatn, 2016)
7 (Kattenhorn et al., 2000)
8 (Ciftci & Bozkurt, 2007)
9 (Nikolaev, 1977)
10 (Win tensor)

همین گسـترش وسـیع در ضـخامت و سـطح سـبب گردیده که منطقهٔ مورد مطالعه از لحاظ چینه‌شناسی با رسوبات پرمین روبرو باشـد. این رسـوبات به‌صـورت دگرشـیب بر روی رسـوبات پالئوزوئیک پایینی(کامبرین) و سازندهای قدیمی‌تر قرار می‌گیرند. دگرشـــیبی یادشـــده معرف دوره‌ای طولانی از بالازدگی و فرســـایش طی رخداد تکتونیکی هرسی‌نین است که سپس با حضور دریایی که نهشته‌های پرمین در آن شکل گرفته‌اند، پایان می‌یابد (حاجی حسینلو، ۲۰۱۵).[1]



شکل ۱- محدودهٔ موقعیت جغرافیایی منطقهٔ تمتمان نازلوچای ارومیه



شکل ۲- نقشهٔ سنگ‌شناسی منطقهٔ تمتمان نازلو ارومیه

1 (Haji Hosseinlou, 2015)

بخش‌های قاعده‌ای این نهشته‌ها عموماً ماسه‌سنگی و کنگلومرایی است که به رنگ قرمز ارغوانی و یا متمایل به‌صورتی مشاهده می‌شوند. با توجه به شباهت‌هایی که از لحاظ سنگ‌شناسی ما بین این سری ماسه‌سنگی و سازندهای قدیمی‌تر پالئوزوئیک موجود است، باید به نحوهٔ استقرار این سنگ‌های رسوبی توجه نمود، چون طبقات با چین‌خوردگی ملایم عمدتاً مربوط به پرمین و نهشته‌های پالئوزوئیک تحتانی معمولاً با شیب تندتر هستند. این نوع دگرشیبی در منطقه مورد مطالعه در حوالی روستای بهلول‌آباد، در ناحیه انتهایی دره‌ای گسلی قابل پیگیری و مشاهده است (سناخوان و همکاران، ۱۳۹۱). آهک‌ها عمدتاً لایه لایه و به رنگ خاکستری تیره تا سیاه بوده و بعضی وقت‌ها حاوی باندهای چرت هستند. دولومیت‌ها متبلور و به رنگ خاکستری تا خاکستری روشن با لایه‌بندی نسبتاً ضخیم و یا توده‌ای هستند. عدسی‌ها و یا لایه‌های لاتریتی که گاهی ضخامت آن‌ها به ۲ متر هم می‌رسد، همراه سنگ‌های کربناته فوق دیده می‌شوند (شکل ۲).

۳- مواد و روش‌ها

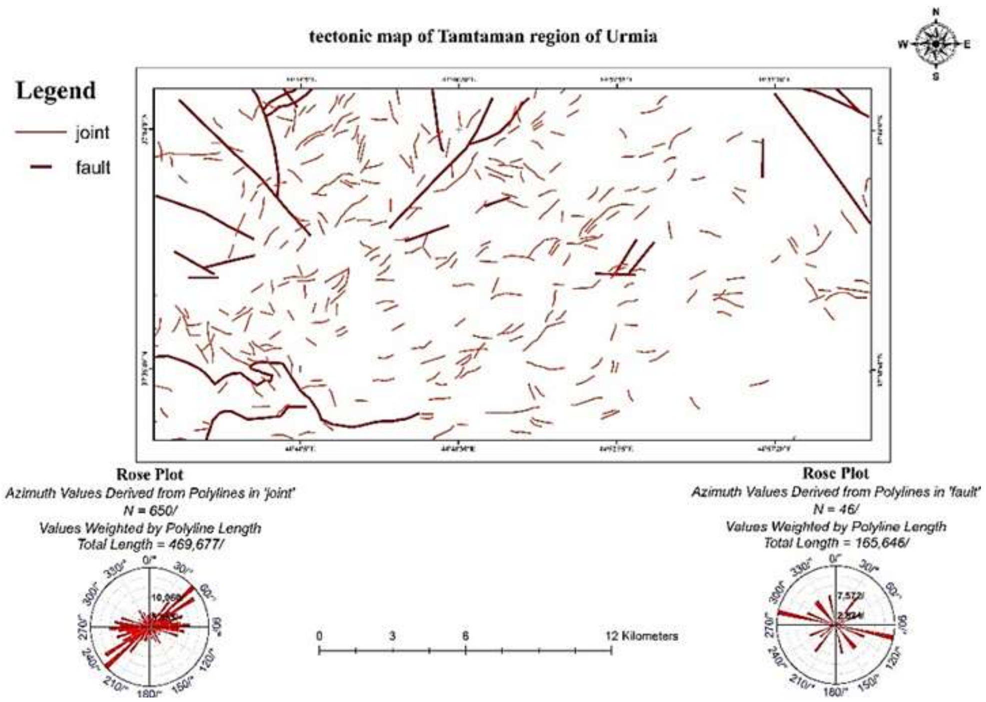
این مقاله بر اساس روش میدانی، کتابخانه‌ای و دفتری متکی است. ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی محدوده تمتمان مورد مطالعه مشخص شد. از نقشه‌های توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ارومیه جهت استفاده در شناسایی عوارض و سازندها استفاده شد. تهیهٔ نقشهٔ (دم[1]) منطقهٔ سرو جهت رسم خطوط توپوگرافی و تهیهٔ نقشهٔ شیب و جهت شیب می‌باشد. با استفاده از نقشهٔ زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰سرو، مطالعات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای برای تهیهٔ نقشهٔ پیرامون گسل‌ها و سازندهای مختلف استفاده شد. در پیمایش‌های میدانی، مشاهده و بررسی ساختارهای زمین‌شناسی و لندفرم‌های ژئومورفولوژی در محدودهٔ منطقه و محوطهٔ باستانی غار تمتمان و اطراف آن انجام شد. با استفاده از نرم‌افزار (آرک جی آی اس[2] ۱۰/۷) و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای (به‌عنوان اطلاعات پایه وارد (آرک جی آی اس ۱۰/۷) شده و بعد از تعریف زمین مرجع و سیستم مختصات آن‌ها) لایه‌های مورد نیاز رقومی گردیده و نقشهٔ منطقه ترسیم شده و اندازه‌گیری لازم صورت گرفته است. در منطقهٔ مورد مطالعه در ارتباط با چشم‌اندازهای مورفولوژیک مناطق کارستی نقش شکستگی‌ها را بیان کردیم که با استفاده از نرم‌افزار (پسی ژئومتیکا[3]) جهت تولید خطواره‌ها و شکستگی‌ها با استفاده از داده‌های لندست ۸ در منطقه صورت گرفت. از نرم‌افزار (پولار پلاتز[4]) جهت تحلیل گسل‌ها و درزه‌ها، از نرم‌افزار (وین تنسور) برای تحلیل جهات تنش‌های منطقه استفاده شده است (شکل ۳). این تحقیق اهداف زیر را دنبال می‌کند:

۱. شناسایی و مطالعهٔ چشم‌اندازهای مورفولوژیک ایجاد شده توسط توسعهٔ کارست؛

---

1 (DEM)
2 (Arc GIS 10.7)
3 (PCI GEOMATICA)
4 (Polar plots)

۲. ارتباط شکستگی‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی در توسعهٔ کارست؛
۳. تعیین نقش گسل‌ها و درزه‌ها در تحولات تکتونیکی و مخاطرات منطقهٔ موردپژوهش؛
٤. تعیین ارتباط دولین‌ها، کارن‌ها، تپه‌شاهدها و غار تمتمان با یکدیگر و همچنین با ساختارهای تکتونیکی؛
۵. تعیین نقش سنگ‌شناسی و ساختارهای تکتونیکی در توسعهٔ کارست در سکانس‌های چینه‌شناسی.



شکل ۳- نقشهٔ گسل‌ها و درزه‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه

٤- بحث

٤-۱- اشکال کارستی منطقهٔ مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه اشکال کارستی به دو دسته سطحی و عمقی تقسیم می‌شوند. بررسی و مشاهدات صحرایی نشـان می‌دهد که در این منطقه همه اشـکال کارسـت سطحی یا وجود ندارند، یا در مناطق صعب‌العبور قرار دارند و قابل مشـاهده نیسـتند ازجمله اشکال سطحی که طی این تحقیق بررسی شده‌اند عبارتند از: کارن، پیناکل‌ها، کانال‌ها و دولین انحلالی و حفرات انحلالی و از اشکال کارست عمقی موجود در منطقه می‌توان به چشمه‌های کارستی و غارها اشـاره کرد. پراکندگی و گسـتردگی اشـکال کارستی در تمام منطقه تمتمان یکسان نیست که این موضوع نشان‌دهنده نابرابر بودن پدیده‌های تکتونیکی و درجه خلوص سـنگ‌آهک در منطقه اسـت. حفره‌های انحلالی در منطقه بارزتر و

فراوان‌تر بوده و دارای اشکال و ابعاد متفاوت پراکنش ناموزون هستند وابستگی حفره‌های انحلالی به پدیده‌های تکتونیکی بخصوص درزه‌ها و گسل‌ها زیاد بوده، به‌طوری‌که هر حفره در راستای یک درزه یا ترک یا درزه‌های بین سطوح لایه‌بندی ایجاد شده است. چشمه‌های کارستی مهم‌ترین پدیده عمقی در منطقه است از قبیل : چشمهٔ قره‌نسا، چشمه دره گرگ، چشمه تمتمان، چشمه کوهستان سیاه. این چشمه‌ها به‌صورت دائمی و فصلی بوده و در این منطقه به سه دسته تقسیم‌شده‌اند: کنتاکتی، کارستی و زهکشی واریزه‌ای. اغلب این چشمه‌ها در محل راستای گسل‌های منطقه مورد مطالعه تجمع دارند. بررسی کیفیت آب چشمه‌ها نشان می‌دهد که اغلب آن‌ها دارای (پی اچ[1]) بالاتر از ۷ هستند که دلیل بر جاری بودن این چشمه‌ها در سازندهای سنگ آهکی است.

٤-٢- رابطه ساختارهای تکتونیک و اشکال کارستی

شکل‌گیری اشکال کارستی ناشی از انحلال سنگ قابل حل و زهکشی مستمر آب از محل ورود به خروج است. به‌عبارت‌دیگر وجود فضاهای خالی چه تکتونیکی و چه غیرتکتونیکی (سنگ‌آهک‌های متخلخل) شرط اولیه نفوذ و انتقال آب از سازند است. درصورتی‌که سنگ‌آهک یک منطقه شکننده و خالص باشد عامل تکتونیک بیشتر از سایر عوامل می‌تواند در ایجاد اشکال کارستی نقش داشته باشد. نقش تکتونیک در منطقهٔ مورد مطالعه از دو جهت قابل بررسی است: ١-تکتونیک و ژئومورفولوژی منطقهٔ مورد مطالعه؛ ٢- تکتونیک و اشکال کارستی منطقهٔ مورد مطالعه. به‌منظور بررسی شکستگی‌ها و ارتباط آن با پدیده کارستی شدن منطقه و مخاطرات آن ٧ ناحیهٔ مطالعاتی در منطقهٔ تمتمان برای اندازه‌گیری امتداد و شیب گسل‌ها و درزه‌ها انتخاب شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار (وین تنسور) امتداد اشکال کارست و تنش‌های وارده از ناحیهٔ گسل‌ها در ٧ ناحیه و ارتباط درزه‌ها با آن‌ها بررسی شده است که این نواحی عبارتند از:

٤-٢-١- ناحیهٔ دره نازلو

در این ناحیه امتداد گسل‌ها در راستای شمال شرق – جنوب غرب و شمال غرب – جنوب شرق می‌باشند و زاویه شیب آن‌ها بین ٥٥ تا ٦٠ درجه است و جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب شرق و شمال شرق می‌باشد و بر اساس مدل تنش تکتونیکی، جهت غالب تنش کششی در جهت شمال شرق – جنوب غرب است و رژیم تنش در این ناحیه تنش کششی محض می‌باشد. بیشتر درزه‌ها در این ناحیه از نوع درزه‌های کششی هستند که جهت امتداد آن‌ها شمال‌شرق – جنوب‌غرب، زاویه شیب آن‌ها بین ٦٥ تا ٨٠ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب شرق می‌باشد اما درزه‌های برشی در ناحیه نازلو، راستای شمال غرب – جنوب شرق دارند و شیب آن‌ها بین ٤٠ تا ٦٥ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت شمال شرق منطقه است (شکل‌های ٦ (الف) و ٧ (الف)). غار تپیک در این منطقه

1 (PH)

در راســتای شــمال شرق و تنش کششی و در امتداد درزه‌های کششی توسعه و تعمیق یافته است و نیروهای وارده از ناحیهٔ گســل تپیک و گســل نازلو در تشــکیل این غار نقش داشته‌اند و ریزش‌های سنگی در پای دامنه نتیجهٔ تخریب اشــکال کارســت مانند: اینســلبرگ‌های کارستی، پیت‌ها، گریک و کارن‌های افقی هستند و دره‌های منطقه ازجمله درهٔ نازلو در راســتای تنش حداکثر در این ناحیه ایجاد شــده‌اند و با توجه به اینکه اشکال کارست مانند پیت‌ها در راستای تنش فشــارشی تشکیل شده‌اند و در راستای تنش کششی تعمیق شده‌اند و ریزش‌های سنگی به‌موجب تعمیق شدگی و قطع‌شــدگی اشــکال کارســت با درزه‌ها و گســل‌های تکتونیکی ایجاد شــده‌اند لذا این دره‌ها؛ دره‌هایی کارســتی – تکتونیکی هستند و چشمهٔ نازلو نیز در راستای نیروهای کششی از ناحیهٔ گسل راست‌بر نازلو ایجاد شده است. توسعهٔ مجاری کارســتیک قدیمی در ناحیهٔ نازلو در ارتباط با درزه‌های کششی بوده است. فرسایش ناشی از عملکرد آب‌های سـطحی به همراه تنش وارده از ناحیهٔ گسل‌ها منجر به تخریب اشکال کارستی (پیت‌ها و گریک‌ها) و ایجاد دالان‌های کارســتی به‌موازات زون برشی گسل قره‌نسا در درهٔ نازلو شده است. شکل درهٔ نازلو در ارتباط با جهت‌گیری یال‌های چین‌ها و فرســایش آن‌ها به‌مرورزمان در ارتباط با حرکت گسل‌ها و تغییر در وضعیت حرکت آبراهه‌ها است. می‌توان گفت که تنش‌های وارده بر یال‌های چین‌ها از ناحیهٔ گسل راست‌بر منجر به توسعهٔ ساختارهای تکتونیکی در لایه‌های آهکی – دولومیتی چین‌خورده در راستای تنش حداقل و فرسایش آن‌ها در جهت تنش حداکثر منجر به ایجاد اشکال کارســت و تغییر در الگوی زهکشــی شده است. در ناحیهٔ نازلو، کارن‌های شیاری عمود بر لایه‌بندی نقش بسزایی در ورود مواد ســولفاته به داخل حفرات حاصــل از درزه‌های مزدوج برشــی متقاطع دارند. کارن‌های جویباری کارستیک عمود بر لایه‌بندی در جهت زون برشــی گسلهٔ چپ‌بر ایجاد شده‌اند که نقش بسزایی در انتقال و جهت‌گیری آبراهه‌ها داشته است.

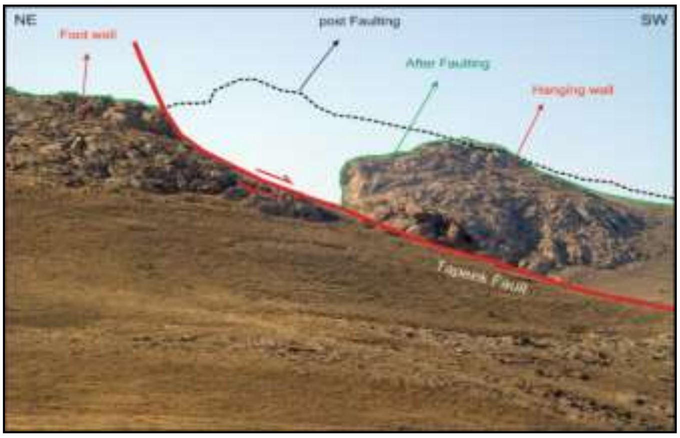
٤-٢-٢- ناحیهٔ درهٔ قره‌نسا

امتداد غالب گسل‌ها در این ناحیه در راستای شمال غرب – جنوب شرق است و زاویه شیب آن‌ها بین ۳۰ تا ٦۰ درجه اســت و اکثر گســل‌ها نرمال راســت‌بر هستند (شکل ٦ (ب)) و جهت شیب اکثر آن‌ها به سمت جنوب غرب منطقه اســت و بر اساس مدل تنش تکتونیکی، رژیم تنش در ناحیه تنش کششی محض است و تنش کششی در این ناحیه در راســتای شــمال شــرق – جنوب غرب گســترده است. امتداد غالب درزه‌ها، درزه‌های کششی هستند که در جهت شــمال شــرق – جنوب غرب امتداد دارند و شــیب آن‌ها بین ٤٥ تا ۷۵ درجه و جهت شــیب آن‌ها به ســمت جنوب‌شــرق اســت. در این ناحیه درزه‌های برشــی، راستای شمال غرب – جنوب شرق و شیب آن‌ها بین ۳٤ تا ٤٥ درجه می‌باشند و جهت شیب آن‌ها به سمت شمال شرق است (شکل ۷ (پ)). امتداد غالب گسل‌ها در این ناحیه در راســتای شــمال غرب – جنوب شرق است و اکثر گسل‌ها نرمال چپ‌بر هستند. غار قره‌نسا در جهت تنش کششی و امتداد گسل نازلو و در جهت درزه‌های کششی تشکیل شده‌اند. در این محل گریک‌ها توسعهٔ فراوانی دارند و با توجه

به اینکه ریزش‌های سنگی در نتیجهٔ تنش کششی در ناحیه ایجاد شده است؛ بنابراین کاملاً طبیعی است که این غارها توسط سازوکار حرکتی گسل نازلو تخریب و دچار پرشدگی شوند. در این ناحیه فرسایش شدید به دلیل عملکرد اقلیم و شرایط آب و هوایی و ورود جریان‌های بارشی از طریق درزه‌های متقاطع عرضی و مایل در بستر تکتونیک تشدید شده است. این فرسایش به‌قدری شدید بوده است که واحدهای آهکی و دولومیتی با ضخامت بسیار زیادی از واریزه‌های ناشی از تخریب واحدهای آهکی کارستیک دارای درزه‌های متقاطع پوشانیده است و راه رفتن بر روی آن بسیار سخت و زیان‌بار می‌باشد.

٤-٢-٣- ناحیهٔ درهٔ تپیک

امتداد غالب گسل‌خوردگی در منطقه تپیک شمال غرب – جنوب شرق است که شیب غالب آن‌ها بین ٤٠ تا ٦٠ درجه و جهت شیب اکثر آن‌ها به سمت شمال شرق منطقه است. نوع تنش در منطقه تنش کششی که در راستای شمال شرق تا جنوب غرب گسترده است (شکل ٦ (پ)). بر اساس مدل تکتونیکی رژیم تنش غالب در این ناحیه تنش کششی محض می‌باشد و اکثر درزه‌های موجود در ناحیه بیشتر درزه‌های کششی هستند و امتداد غالب آن‌ها شمال شرق – جنوب غرب و شیب آن‌ها بین ۳۰ تا ۸۰ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت شمال غرب می‌باشد (شکل ۷ (ب)). درهٔ تپیک، درهٔ تکتونیکی است این دره در جهت تنش حداکثر ایجاد شده است و توسعهٔ کارست در جوانب آن توسط گسل‌های منشعب از گسل تپیک و نازلو با توسعهٔ تنش کششی صورت گرفته است. لذا مجاری در راستای تنش کششی، یعنی شمال شرق–جنوب غرب توسعه یافته‌اند و اعمال تنش‌های حداکثر منجر به تخریب اشکال کارست و عریض شدن دره و ایجاد ریزش‌های بلوکی سنگ شده است. لذا علت ایجاد مخاطرات ریزش سنگ در این دره، عملکرد تکتونیک در بستر توسعهٔ کارست می‌باشد. علاوه بر این توسعهٔ اشکال کارست تحت تأثیر تنش حداکثر و تعمیق شدگی در جهت تنش کششی بوده است. گسل تپیک در غرب محدوده مورد مطالعه قرار گرفته و از وسط روستای تپیک عبور می‌کند. گسل تپیک در این محدوده یک دره گسلی ایجاد کرده، و دارای راستای $N35^\circ W$ می‌باشد و سازوکار گسل‌خوردگی در آن نرمال و از نوع قاشقی است (شکل ٤). شیب صفحه گسل در قسمت‌های مختلف متفاوت است. و در فرازهای بالا، شیبی حدود ٦٠– ۷۵ درجه تا فرازهای پایین که شیبی حدود ٤۵ درجه به خود می‌گیرد (شکل ۵).



شکل ٤- نیروهای وارده از ناحیهٔ گسل تپیک در تشکیل غار تپیک نقش داشته است جهت دید عکس به طرف شمال.



شکل ٥- نمایی از دره تپیک و محل عبور گسل تپیک، جهت دیدSE

٤-٢-٤-ناحیهٔ دره قلعه اسمعیل

اصـلی‌ترین گسـل درهٔ قلعه اسـمعیل، گسـل راندگی قلعه اسـمعیل است که گسلی چپ‌بر می‌باشد و گسل‌های موجود در این دره از نوع متقاطع هسـتند و در تمام جهات امتداد دارند. شیب اکثر گسل‌ها بین ۳۰ تا ۸۰ درجه متغیر و جهت شـیب آن‌ها شمال شرق و جنوب شرق می‌باشد (شکل ٦ (ت)). بر اساس مدل تنش تکتونیکی، رژیم تنش در این دره، از نوع راستالغزی محض می‌باشد. اکثر درزه‌ها در منطقه، از نوع درزه‌های برشی، امتداد آن‌ها شمال شرق – جنوب غرب، شیب آن‌ها بین ٦۰ تا ۷۰ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب شرق منطقه است. اما درزه‌های کشـشـی در راستای شمال غرب – جنوب شرق منطقه هستند و شیب آن‌ها بین ۳۰ تا ٤٥ درجه و جهت شیب آن‌ها

به سمت شمال شرق می‌باشد (شکل ۷ (ت)). این دره تحت تأثیر تنش کششی تشکیل شده است با توجه به توسعهٔ مجاری کارست در این دره با اعمال تنش حداکثر ریزش سنگ به دلیل تخریب مجاری کارست صورت گرفته است. بنابراین در این منطقه دلیل مخاطرات ریزش سنگ، تکتونیک در بستر توسعهٔ کارست می‌باشد. زون برشی گسل قلعه اسمعیل با ایجاد بستری برای توسعهٔ حفرات کارست و توسعهٔ درزه‌های سیستماتیک و مزدوج برشی در واحدهای چین‌خورده، اشکال مورفولوژیکی همانند دره‌های جیبی را در درهٔ تمتمان ایجاد کرده است در این دره که عمود بر صفحه محور چین نامتقارن ایجاد شده است رشد درزه‌های مزدوج برشی در یال‌ها به همراه توسعهٔ کارست و تنش‌های وارده از ناحیهٔ گسل قلعه اسمعیل منجر به خردایش سنگ‌ها و ایجاد پرتگاه کرده است که این پرتگاه به سمت درهٔ تمتمان می‌باشد.

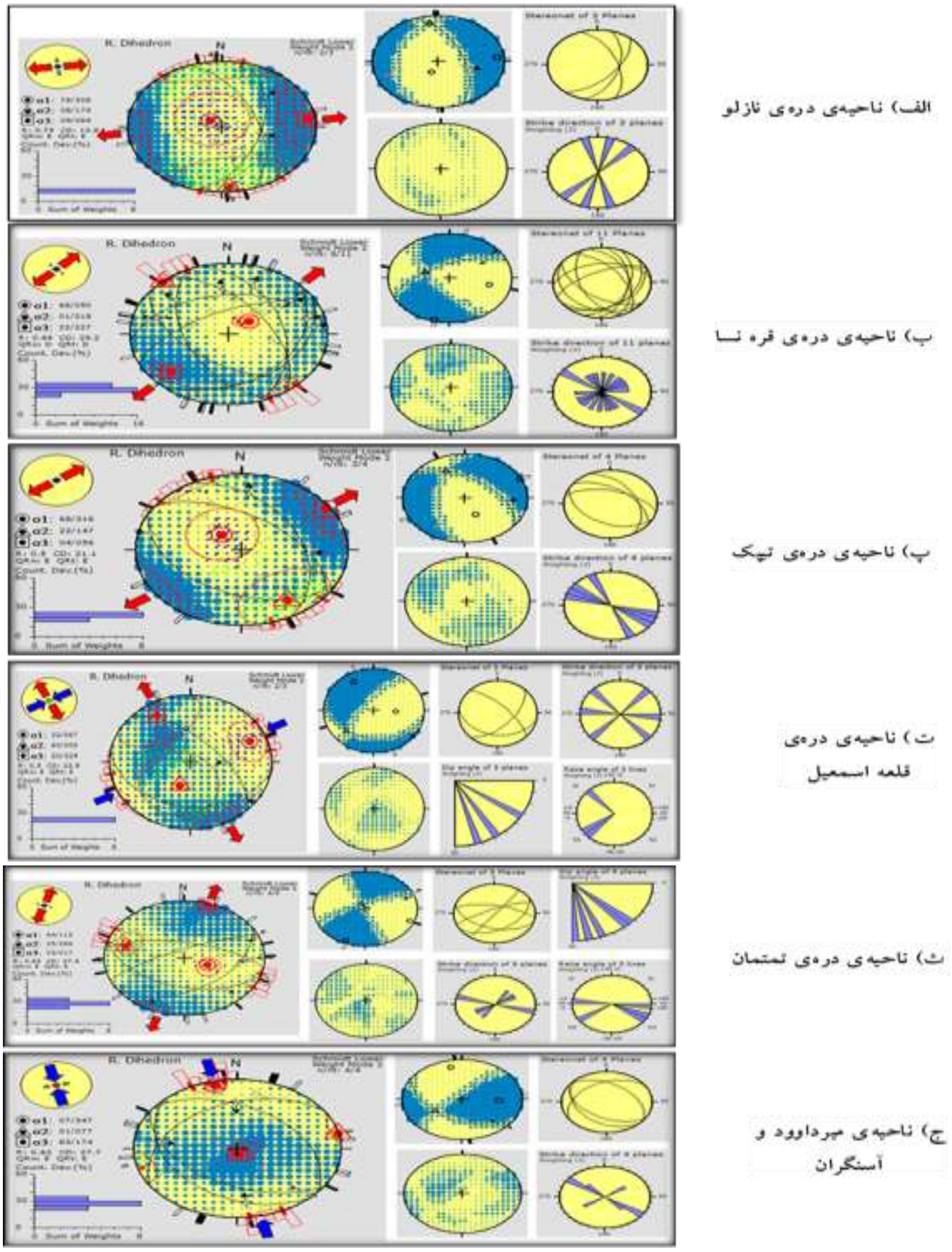
۴-۲-۵- ناحیهٔ درهٔ پدیمنت

در درهٔ پدیمنت که در کنار درهٔ تپیک قرار دارد؛ ریزش‌های سنگی به دلیل توسعهٔ درزه‌های سیستماتیک ایجاد شده است و باغات کشاورزی در پایین‌دست خود را تهدید می‌کند اندازهٔ این ریزش‌ها بستگی به پارامترهای شیب و جهت شیب لایه‌ها دارد هر چه شیب لایه‌ها بیشتر باشد ریزش‌ها نیز گسترده‌تر است و توسعهٔ کارست تنها در پای دامنه و نزدیک به باغات کشاورزی و در آبرفت‌ها صورت گرفته است. با توجه به این‌که درزه‌ها تا عمق توسعه یافته‌اند و بازشدگی بیشتری پیدا می‌کنند، این منجر به ایجاد یک سری فرونشست‌های کارستی در نواحی پای دامنه‌ای شده است. در داخل رسوبات آبرفتی در پایین‌دست آثاری از حفرات کارست و یا مجاری در داخل رسوبات دیده می‌شود و با توجه به چین‌خوردگی لایهٔ کم ضخامت نشان می‌دهد که مجاری عمودی و عمیق در راستای تنش حداکثر تشکیل شده‌اند و مجاری افقی در راستای تنش کششی تشکیل شده‌اند ولی با توجه به غلبهٔ تنش فشارشی بر کششی مجاری افقی نتوانسته‌اند رشد کنند و دچار انسداد و فروپاشی مجاری شده‌اند. درهٔ قلعه اسمعیل که دره‌ای U شکل است در کنار گسل‌خوردگی راندگی قلعه اسمعیل پدیمنت‌های ضخیمی وجود دارد که به‌شدت تحت تأثیر چین‌خوردگی قرار گرفته‌اند. البته تپه‌هایی است که ضخامت قابل‌توجهی از این واحدهای کنگلومرایی را دارند که مشخص است که در دوره‌های زمانی گذشته این درهٔ پدیمنت با درهٔ قلعه اسمعیل یک ارتباطاتی مورفولوژیک داشته است. در واحدهای پدیمنتی تنها آثار کارستی که وجود دارد لاپیه‌هایی به عمق ٤ سانتی‌متر و پهنای ۵ سانتی‌متر است که به دلیل سست شدن برخی سنگ‌ریزه‌ها در نتیجهٔ فرسایش سیمان آن‌ها و افتادن آن‌ها ایجاد شده است.

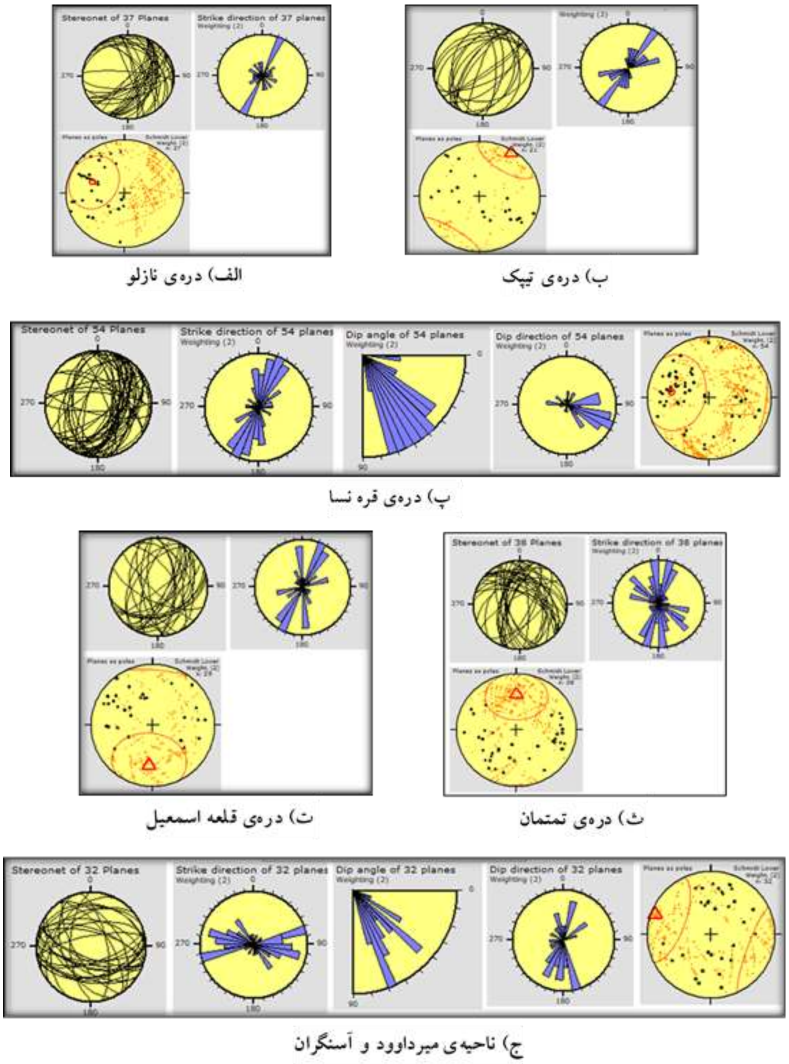
٤-٢-٦- ناحیهٔ دره تمتمان

گسل خوردگی غالب در منطقه تمتمان و دشت تمتمان از نوع نرمال با مؤلفه راستالغزی راست‌بر است. امتداد غالب این گسل‌ها شمال غرب – جنوب شرق و شیب آن‌ها بین ۴۰ تا ۸۹ درجه متغیر است. مؤلفه امتدادلغزی این گسل‌ها غالب‌ترین سازوکار حرکتی آن‌ها محسوب می‌گردد. در این ناحیه دسته دیگری از گسل‌ها در امتداد شمال

شـرق – جنوب غرب وجود دارند که راسـتای توسـعه تنش‌های کشـشـی در منطقه هستند و جهت شیب اکثر این گسـل‌ها به سـمت جنوب شـرق منطقه است. رژیم تنش کششی در منطقه بر اساس مدل تکتونیکی، کششی محض می‌باشد (شکل ٦ (ث)). در این ناحیه اکثر درزه‌ها در جهت شمال شرق – جنوب غرب توسعه دارند؛ بنابراین این‌ها از نوع درزه‌های کشـشـی هستند که شیب آن‌ها بین ٦٥ تا ٧٥ درجه است و جهت شیب آن‌ها به سمت شمال غرب می‌باشد. اما راستای درزه‌های برشی در این ناحیه در جهت شمال غرب به سمت جنوب شرق هستند که شیب آن‌ها بین ٢٠ تا ٥٠ درجه و جهت شـیب آن‌ها به سـمت شـمال شـرق منطقه اسـت (شـکل ٧ (ث)). دره تمتمان دره‌ای تکتونیکی اسـت و ریزش‌های سـنگی به دلیل عملکرد تکتونیک در بسـتر توسـعهٔ کارسـت ایجاد شـده‌اند و توسعهٔ مجاری کارسـت بیشـتر در ارتباط با تنش‌های کشـشـی ناشی از گسل‌های فعال منطقه در جوانب دره صورت گرفته اسـت. بیشـترین تخریب ناشـی از فعالیت تکتونیکی مربوط به توسعهٔ درزه‌های برشی در واحدهای آهکی می‌باشد؛ درحالی‌که ریزش سـنگ به دلیل توسـعهٔ کارسـت در بسـتر تکتونیک مربوط به دره‌های جیبی و محوطهٔ اطراف غار تمتمان می‌باشـد. دره‌های فرعی در دشـت تمتمان، به جزء درهٔ گسل زینالو، دره‌هایی تکتونیکی هستند و ریزش‌های سنگی در درهٔ گسل زینالو ناشی از نقش تکتونیک در بستر کارست توسعه یافته بوده است.



شکل ٦- دیاگرام گل‌سرخی و تصویر استریوگرافی برای گسل‌ها



شکل ۷- دیاگرام گل‌سرخی و تصویر استریوگرافی برای درزه‌ها

٤-٢-٧- ناحیهٔ میرداوود و آسنگران

در ناحیه میرداوود و آسـنگران، فعالیت اکثراً گسـل‌ها از نوع راندگی راست‌بر هستند و امتداد غالب آن‌ها (۳۰۰ تا ۳۱۰ درجه) در جهت شـمال غرب – جنوب شـرق می‌باشـد. حرکات آن‌ها منجر به توسـعه تنش‌های فشارشی در راستای شمال غرب – جنوب شرق شده است و مدل تکتونیکی، رژیم تنش را فشارشی محض نشان می‌دهد (شکل ٦ (ج)). درزه‌های برشـی در این ناحیه توسـعه فراوانی دارند و جهت غالب آن‌ها شمال غرب – جنوب شرق است.

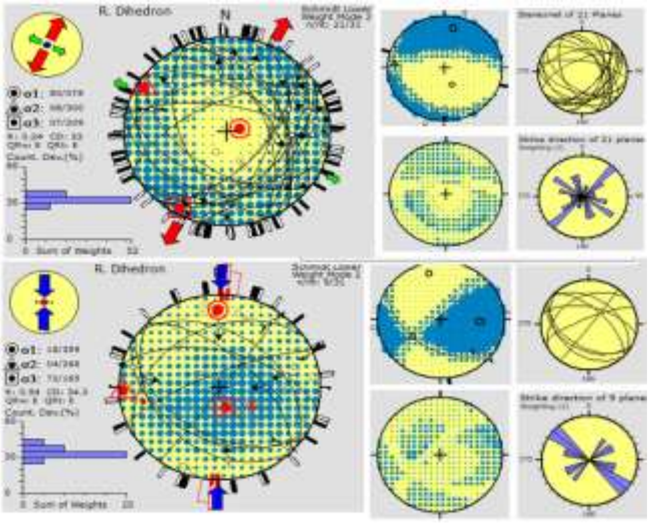
این درزه‌ها با وجود پراکنش بالای درزه‌های کششی، اصلی‌ترین درزه‌های منطقه می‌باشند (شکل ۷ (ج)). در کوهستان ماربیشو، توسعهٔ کارست در بستر تکتونیک انجام شده است و رشد گریک‌ها در درزه‌های کششی و طولی منجر به تکه‌تکه شدن چین‌ها و تشکیل پیناکل‌ها شده است و این منجر به خردایش سنگ‌ها در ارتفاعات در نتیجهٔ فرسایش آن، تپه‌های کم ارتفاع در مقابل دامنه‌های پر ارتفاع تشکیل شده است. در این ناحیه پسروی شدید جبههٔ کوهستان و تپه‌زایی با منشأ کارستی و تکتونیکی باعث سیمای سست و خشن شده است. پسروی جبههٔ کوهستان در منطقهٔ میرداوود و دامنه‌های مشرف‌به روستاهای آسنگران، به دلیل توسعهٔ کارست (گریک کارن‌های غول‌پیکر) در بستر تکتونیک به‌خصوص درزه‌ها و چین‌خوردگی‌ها از مشخصات مورفولوژیک این مناطق می‌باشد. از پارامترهای مهمی که جدا از توسعهٔ کارست نقش بسزایی در تشکیل اشکال پیناکل و به عبارتی فرسایش چین‌های نامتقارن منطقه دارند؛ آب جاری (چشمه)، جهت‌شیب و شیب و ارتفاع توپوگرافی است فرسایش به‌قدری زیاد است که منجر به ایجاد واریزه و ریزش‌های بلوکی سنگ در جای‌جای پای دامنه شده است که تهدیدی بالقوه برای ساکنان موجود در پای دامنه‌ها محسوب می‌شوند. در این ناحیه چشمه‌ها گسترده و در جای‌جای این ناحیه حتی در ارتفاعات دیده می‌شوند که جهت‌گیری بسیار واضحی با درزه‌ها در منطقه دارند. در دامنه‌های کوهستانی اطراف مسیر آسنگران یک سری دره‌هایی وجود دارند که در امتداد صفحه محور چین‌ها تشکیل شده‌اند این دره‌ها بیشتر بر اثر فرآیند تکتونیک ایجاد شده‌اند و کارست در تشکیل آن کم‌ترین تأثیر را داشته است دلیل آن درزه‌شدگی بالا و نزدیک بودن فاصلهٔ آن‌ها نسبت به هم می‌باشد که منجر به ریزش‌های بلوکی سنگ شده است. در اطراف راه خاکی آسنگران بعضی از ریزش‌های سنگی نه به دلیل درزه‌شدگی بلکه تنها به دلیل توسعهٔ حفرات کارستی در راستای تنش حداکثر در فابریک چین نامتقارن واحدهای آهکی ایجاد شده‌اند جهت خروج آب چشمهٔ آسنگران ۱ با جهت غالب درزه‌های کوهستان مجاور مشابه است. بنابراین چشمه‌های این ناحیه در راستای تنش فشارشی و درزه‌های برشی ایجاد شده‌اند. بنابراین در تشکیل این چشمه تکتونیک بیشترین نقش را داشته است بنابراین گسل‌خوردگی و درزه‌های منطقه عامل هدایت آب در این نقطه است. برخلاف چشمهٔ قبلی، چشمهٔ آسنگران ۲، چشمه‌ای در نتیجهٔ توسعهٔ مجاری کارست شکل گرفته است. این چشمه در جهت تنش کششی و درزه‌های کششی شکل گرفته است (یعنی در راستای توسعهٔ مجاری کارست). در درهٔ میرداوود که در کنار روستای میرداوود قرار دارد، اغلب ریزش‌های سنگی، دلیل تکتونیکی دارند و فعالیت گسل معکوس مشهود است و درزه‌های متقاطع رشد کرده‌اند.

بر اساس مدل تکتونیکی منطقهٔ مورد مطالعه، راستای تنش کششی در منطقه تمتمان شمال شرق – جنوب غرب و راستای تنش فشارشی (حداکثر) شمال غرب – جنوب شرق است. گسل‌هایی که ایجاد تنش‌های کششی در منطقه شده‌اند از نوع گسل‌های نرمال می‌باشند که ۶۷ درصد گسل‌های منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده‌اند. اغلب امتداد آن‌ها در راستای شمال شرق – جنوب غرب بوده و مقدار شیب بیشتر آن‌ها (۴۰–۴۵) درجه می‌باشد که جهت شیب

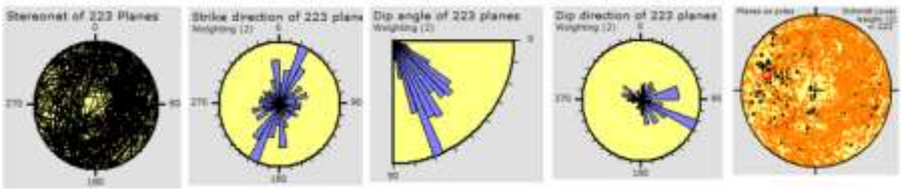
آن‌ها در راستای جنوب شرق منطقه است. این گسل‌ها نقش بسزایی در توسعهٔ مجاری کارستی و ریزش‌های بلوکی سنگ داشته‌اند و مابقی که فراوانی کمی دارند در راستای شمال غرب – جنوب شرق گسترده شده‌اند و شیب آن‌ها بین ۵۵ تا ٦۰ درجه و جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب غرب منطقه است. با توجه به نتایج به دست آمده از نرم‌افزار وین تنسور، رژیم تنش کششی در منطقه تنش کششی شعاعی می‌باشد. امتداد غالب ۳۳ درصد از گسل‌های منطقه (۳۰۰ –۳۲۰ درجه) شمال غرب – جنوب شرق می‌باشد که این گسل‌ها اکثراً از نوع راندگی و تنش فشارشی را در منطقه توسعه داده‌اند و مؤلفه راستالغزی آن‌ها غالب‌ترین سازوکار حرکتی آن‌ها است. عموماً این گسل‌ها راست‌بر بوده و جهت شیب حداکثر آن‌ها در جهت شمال شرق – جنوب غرب می‌باشد و شیب اکثریت آن‌ها ٤۰ تا ٤٦ درجه می‌باشد و مدل تکتونیکی رژیم تنش فشارشی در منطقه را تنش فشارشی محض نشان می‌دهد (شکل ۸). حدود ۸۰ درصد از درزه‌های منطقه، درزه‌های کششی هستند که امتداد بیشتر آن‌ها (٤۰–۱۰ درجه) در جهت شمال شرق – جنوب غرب و شیب آن‌ها ٦٥ تا ۷۰ درجه است. ۲۰ درصد از درزه‌های منطقه، درزه‌های برشی هستند که امتداد شمال غرب – جنوب شرق دارند و شیب درزه‌های برشی بین ۳۵ تا ٦۰ درجه و جهت شیب به سمت شمال شرق می‌باشد و اکثر حفرات کارستی (مانند پیت‌ها) منطقه در این جهت تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۹ و ۱۰) نمودار (۱) ارتباط بین درزدار بودن و ضخامت لایه‌ها با فرآیند کارستی شدن در منطقه تمتمان را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه گیری

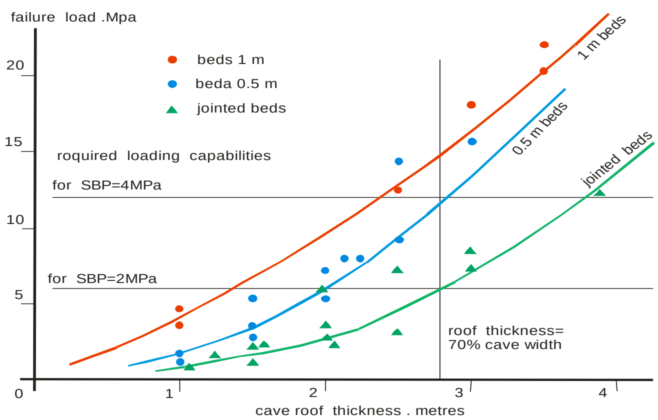
در منطقهٔ مورد مطالعه اشکال کارستیک فرسایش یافته، بازمانده‌ای از کارست‌های قدیمی است که با پیمایش در محدوده متوجه تغییرات محیطی به دلیل وجود ناپایداری‌های بلوکی کارستیک با حفرات ناشی از مخاطرات کارست مواجه شدیم. احتمالاً بیشتر آن‌ها نقش یک آبگیر را برای تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی داشته‌اند. پس این مناطق فرونشستی را با استفاده از تکنیک سنجش از راه دور هم مشخص کردیم. بر اساس مدل تکتونیکی منطقهٔ مورد مطالعه، راستای تنش کششی شمال شرق – جنوب غرب و راستای تنش فشارشی (حداکثر)؛ شمال غرب – جنوب شرق است. گسل‌هایی که ایجاد تنش‌های کششی در منطقه شده‌اند از نوع گسل‌های نرمال می‌باشند که ٦۷ درصد گسل‌ها را تشکیل داده‌اند این گسل‌ها امتداد غالب آن‌ها در راستای شمال شرق – جنوب غرب بوده است و نقش بسزایی در توسعهٔ مجاری کارست و ریزش‌های بلوکی سنگ داشته‌اند و مابقی که فراوانی کمی دارند در راستای شمال غرب – جنوب شرق گسترده شده‌اند. بیشتر گسل‌های نرمال که تنش‌های کششی را ایجاد کرده‌اند دارای مؤلفهٔ امتدادلغزی راست‌بر است و تعداد کمی از آن‌ها چپ‌بر می‌باشد. رژیم تنش کششی در منطقه تنش کششی شعاعی می‌باشد. امتداد غالب ۳۳ درصد از گسل‌ها جهت شمال غرب – جنوب شرق می‌باشد که این گسل‌ها اکثراً از نوع راندگی و تنش فشارشی را در منطقه توسعه داده‌اند و مؤلفه امتداد لغزی آن‌ها غالب‌ترین سازوکار حرکتی آن‌ها است عموماً این گسل‌ها راست‌بر بوده است و مدل تکتونیکی رژیم تنش فشارشی در منطقه را تنش فشارشی محض نشان می‌دهد.



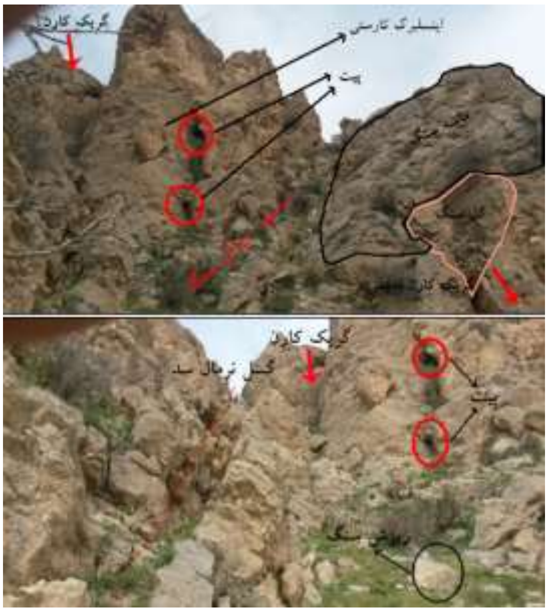
شکل ۸- مدل کلی تکتونیکی گسل‌های منطقهٔ مورد مطالعه



شکل ۹- درزه‌های کلی منطقهٔ مورد مطالعه



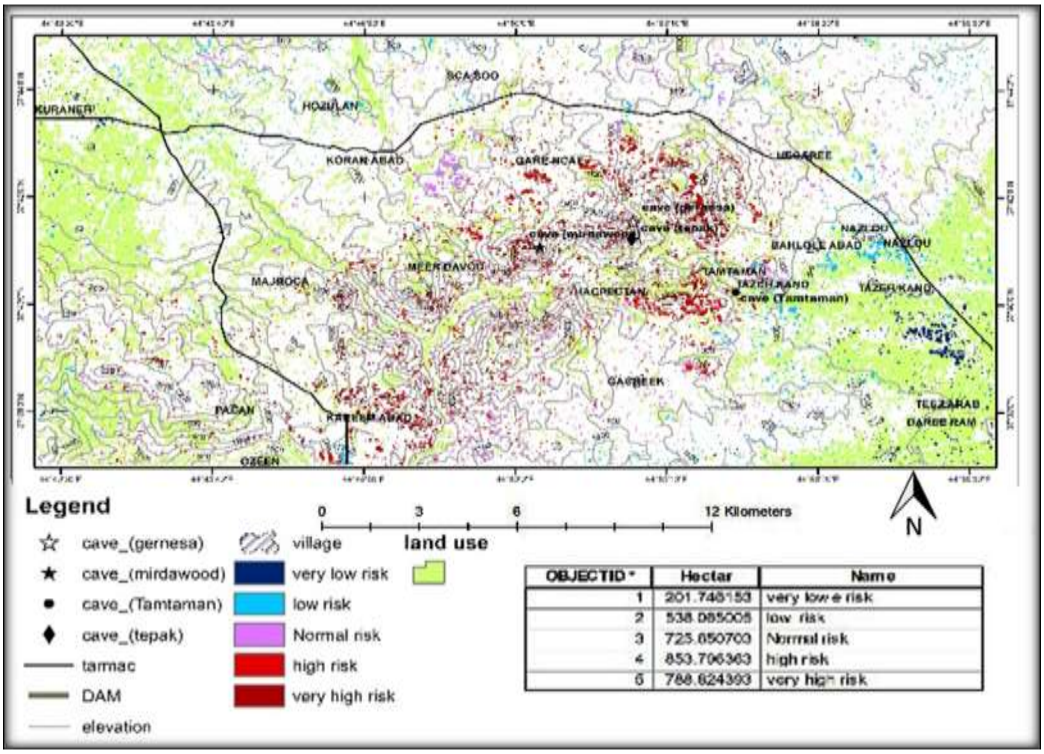
نمودار ۱- ارتباط بین درزدار بودن و ضخامت لایه‌ها با فرآیند کارستی شدن در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰- وجود اشکال کارست و ریزش‌های سنگی در نزدیکی گسل چپ‌بر، جهت عکس بالایی به سمت غرب وجهت عکس پایینی N25˚W

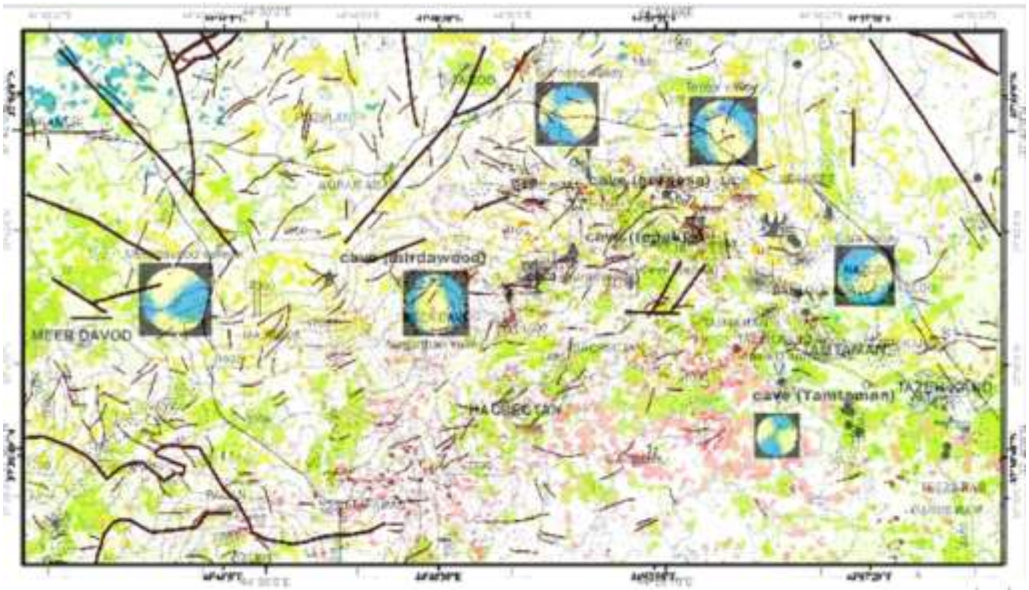
در نواحی که شیب مجاری و یا حفرات کارستی کم می‌باشد در صورت تقاطع آن‌ها تحت تأثیر تنش‌های فشارشی وارده، ریزش‌های بلوکی سنگ رخ می‌دهند و جهت شیب اکثر آن‌ها در جهت جنوب شرق می‌باشند. اکثر دولین‌ها و حفرات فرونشستی در راستای تنش حداکثر ایجاد شده‌اند که اغلب آن‌ها با امتداد درزه‌های متقاطع برشی و محور چین‌خوردگی‌هایی که درنتیجه تنش‌های فشارشی ایجاد شده‌اند همسو هستند توسعه مجاری کارست در جهت درزه‌های متقاطع و تنش‌های فشارشی و تخریب آن‌ها منجر به ایجاد این اشکال شده است اشکال پالئوکارست آن در ارتفاعات با تأثیر مستقیم درزه‌های متقاطع و تنش‌های فشارشی و تخریب ناگهانی ایجاد شده‌اند. امتداد اکثر حفرات غاری نیز در راستای تنش فشارشی و محور چین‌خوردگی‌هایی که در اثر تنش‌های فشارشی ایجاد شده‌اند تشکیل شده‌اند در تشکیل غارها، امتداد پیت‌ها و به هم پیوستن آن‌ها در راستای تنش کششی و تشکیل حفرات بزرگ‌تر مانند آنچه که در کنار کارن‌ها در سقف غار تمتمان دیده می‌شود، نقش داشته است. راستای اکثر محورهای چین‌خوردگی در منطقه مورد مطالعه شمال غرب – جنوب شرق می‌باشند که شیب لایه‌بندی غالب آن‌ها در جهت شمال شرق ۳۵ تا ۴۰ درجه است و مابقی شمال شرق – جنوب غرب هستند که شیب آن‌ها در جهت جنوب شرق ۴۵ تا ۵۰ درجه است این چین‌ها توسط توسعهٔ تنش‌های کششی ایجاد شده‌اند. اکثر دره‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه در جهت شمال غرب – جنوب شرق ایجاد شده‌اند که دره‌هایی چین‌خورده و بسیار تکتونیزه هستند و توسعه کارست در بستر فعالیت‌های تکتونیکی شدید ایجاد شده و درزه شدگی شدید و تنش‌های وارده به پالئوکارست و لایه‌های چین‌خورده

منجر به ریزش سنگ و پسروی و گسترش دره‌های تکتونیکی که در بستر کارست (پالئوکارست) تشکیل شده‌اند، در منطقه شده است.

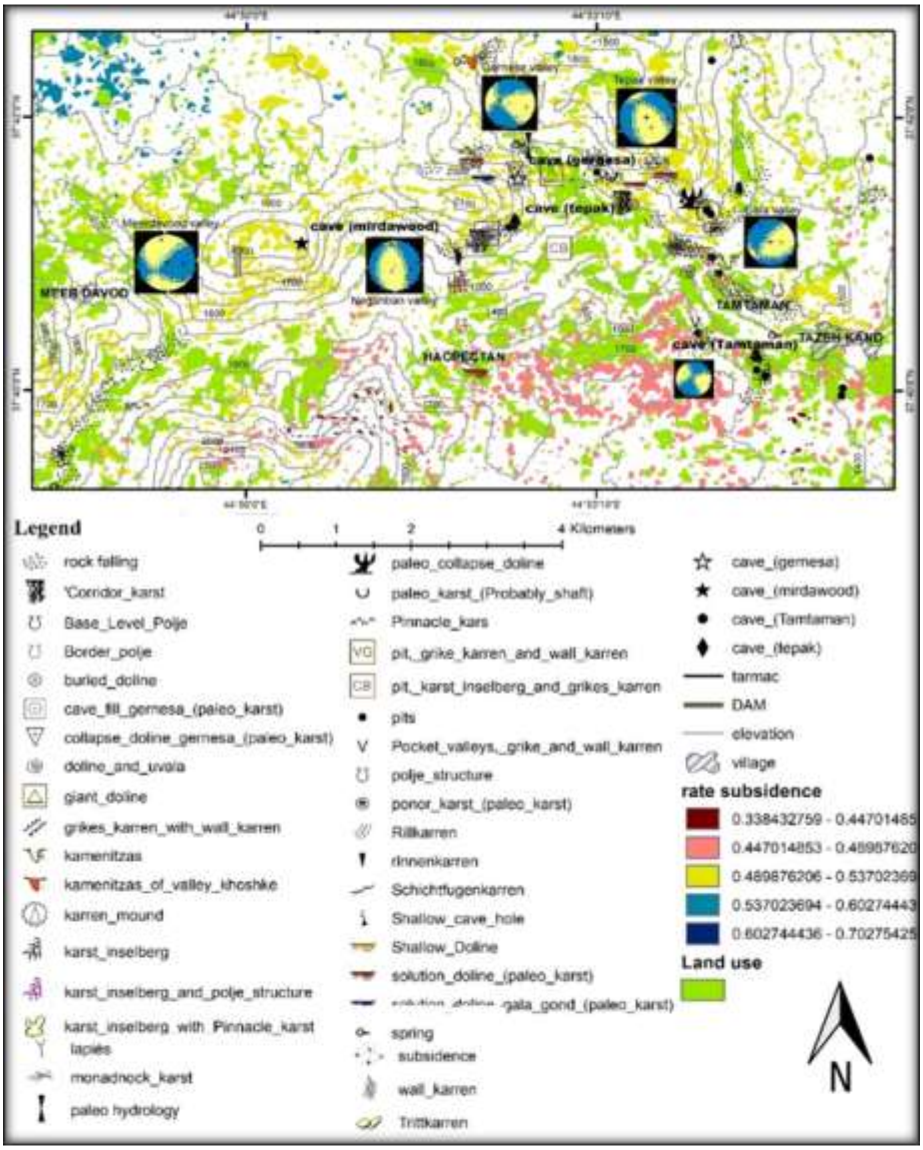


OBJECTID *	Hectar	Name
1	201.746153	very lowe risk
2	538.085005	low risk
3	725.850700	Normal risk
4	853.706363	high risk
5	788.624393	very high risk

شکل ۱۱- نقشهٔ مخاطرات ریزش سنگ در منطقهٔ تمتمان ارومیه



شکل ۱۲- نقشه انطباق: نقشه مخاطرات ریزش سنگ ، نقشه تکتنوکارست و نقشه گسل‌های منطقه



شکل ۱۳- نقشۀ تکتنوکارست منطقۀ مورد مطالعه

در تشکیل این دره‌ها تنش‌های وارده از ناحیه گسل‌های راندگی نقش داشته است در این دره‌ها به دلیل تجمع کانسارهایی از اکسید آهن و منیزیم در بین لایه‌های چین‌خورده، پیناکل‌ها در ارتفاعات گسترش بسیار دارند و ریزش‌های بلوکی سنگ به دلیل توسعۀ تنش‌های وارده و تخریب پیناکل‌ها گسترش فراوانی دارند و تعداد کمی از آن‌ها در جهت تنش‌های کششی و گسلش نرمال منطقه ایجاد شده‌اند این دره‌ها در جهت شمال شرق – جنوب غرب گسترش دارند در این دره‌ها توسعه درزه‌های کششی در دیواره‌ها و در لایه‌بندی چین‌هایی که تحت تأثیر تنش‌های کششی تشکیل شده‌اند دیده می‌شوند این دره‌ها که بر اثر توسعۀ تنش کششی تشکیل شده‌اند در بستر

فعالیت‌های تکتونیکی هستند و دره‌هایی کارستیک می‌باشند و چشمه‌ها به‌وسیلهٔ توسعهٔ مجاری کارست شکل گرفته‌اند و توسعهٔ کارست در بستر تکتونیک منجر به ایجاد ریزش‌های بلوکی سنگ شده است. بر طبق نقشهٔ پهنه‌بندی مخاطرات ریزش سنگ (شکل ١١)، از مساحت کل منطقه ١/٨١ درصد در طبقه خیلی پرخطر، ١/٩٦ درصد در طبقه خطر بالا، ١/٦٧ درصد در طبقه نرمال، ١/٢٣ درصد در طبقه خطر پایین و ٠/٤٦ خیلی کم‌خطر قرار گرفته است. نقشهٔ تولید شده با مشاهدات صحرایی در کل محدوده انطباق کامل دارد. با انطباق نقشه مخاطرات ریزش سنگ ، نقشه تکتونوکارست (شکل ١٣) و نقشه گسل‌های منطقه مشاهده می‌شود که بیشتر کارست‌های منطقه بر روی پهنه‌هایی با خطر بالا و خطر متوسط، در جهت درزه‌های کششی منطقه رخ داده است، که در (شکل ١٢) نشان داده شده است.

٦- جمع‌بندی

با توجه به نقشهٔ مخاطرات ریزش سنگ در منطقهٔ تمتمان ارومیه، از مساحت کل منطقه ١/٨١ درصد در طبقه خیلی پرخطر، ١/٩٦ درصد در طبقه خطر بالا، ١/٦٧ درصد در طبقه نرمال، ١/٢٣ درصد در طبقه خطر پایین و ٠/٤٦ خیلی کم‌خطر قرار گرفته است. سد نازلو در معرض ریزش‌های بلوکی سنگ به‌موجب تنش‌های وارده و کارستیفیکاسیون قرار دارد؛ لذا شاید در محیطی مناسب در حال حاضر ساخته شده است. ولی این سازه با توجه به مدل تکتونیکی منطقهٔ مورد مطالعه که راستای تنش کششی را شمال شرق – جنوب غرب نشان می‌دهد و توسعهٔ مجاری کارست نیز در جهت تنش کششی در منطقه صورت گرفته است برای نگهداشت آن باید هزینه بسیاری کرد و می‌توان احتمال داد که فرار آب از مخزن سد نازلوچای به‌احتمال خیلی زیاد در زمان آینده صورت خواهد گرفت. بنابراین با توجه به مدل‌های تکتونیکی، نقشهٔ پهنه‌بندی ریزش سنگ و مشاهدات میدانی در منطقهٔ مورد مطالعه، زمین این منطقه دارای حفرات بسیار زیاد و توسعهٔ مجاری کارست در جهت تنش کششی منطقه و تخریب مجاری در جهت تنش‌های فشارشی منطقه و با در نظر گرفتن میزان مقاومت سنگ‌ها، ریزش‌های بلوکی سنگ در نقاط نزدیک به گسل‌ها دیده می‌شود. در تشکیل دره‌های منطقه، تنش‌های وارده از ناحیهٔ گسل‌های راندگی نقش داشته است در این دره‌ها به دلیل تجمع کانسارهایی از اکسیدهای آهن و منیزیم در بین لایه‌های چین‌خورده، پیناکل‌ها در ارتفاعات گسترش بسیاری دارند و ریزش‌های بلوکی سنگ نیز به دلیل توسعهٔ تنش‌های وارده و تخریب پیناکل‌ها گسترش فراوان دارند؛ بنابراین این ریزش‌ها در نتیجهٔ فرآیند تکتونیک در بستر کارست توسعه‌یافته صورت می‌گیرد. بنابراین در توسعهٔ اشکال کارست و مخاطرات ریزش سنگ جدا از عامل لیتولوژیک، تکتونیک و تنش‌های وارده در محیط نیز نقش دارد که البته که به غیر از توسعهٔ کارست تکتونیک و تنش‌های وارده می‌توانند منجر به نابودی مراکز فرهنگی همچون غار تمتمان، قره‌نسا، میرداوود و تپیک گردند؛ چراکه این غارها با اینکه ریزش‌های سنگی را هنوز تجربه نکرده‌اند ولی نقاط مستعد ریزش سنگ در اطراف آن‌ها مشاهده می‌گردد و باید در حفاظت از این غارها، سازمان

میراث فرهنگی هزینه و تلاش فراوانی صـورت دهد. ریزش‌های سـنگی مسـیر ارتباطی سرو را کمتر تهدید می‌کنند؛ هرچند که در مسـیر ارزیابی مدل آثار ریزش سـنگ در مناطقی دور از حریم جاده صورت گرفته است ولی بیشتر در داخل دره‌ها ریزش سـنگ داشـتیم؛ بنابراین این مخاطره جاده را تهدید نمی‌کند. با توجه به نقشه و مشاهدات میدانی اکثر سکونتگاه‌های روستایی در منطقۀ با خطر متوسط تا زیاد قرار دارند، باید در ایجاد شهرک‌ها و توسعۀ تفریحگاه‌ها و زیرسـاخت‌ها به دلیل ایجاد بارهای مختلف به زمین باید تمامی اصـول مهندسـی ساخت‌وساز در چنین محیطی را رعایت کرد. چراکه وجود مناطق مسـتعد ریزش سنگ در اطراف مراکز سکونتگاهی تهدیدی مستمر و دائمی است و بر اساس همۀ آنچه که گفته شد برای تشکیل مورفولوژی کارست؛ تکتونیک و تنش‌های وارده بستری مناسب را برای هدایت و عملکرد سـایر پارامترهای دخیل فراهم کرده اسـت و نمی‌توان نقش تکتونیک را در تشـکیل و فرم‌دهی به اشـکال کارسـت انکار کرد با توجه به اینکه اشـکال کارسـت در منطقۀ مورد مطالعه، بیشـتر پالئوکارسـت بوده نقش تکتونیک در حال حاضـر تخریب اشـکال کارست در جهت تنش‌های حداکثر و یا در مجاورت با گسل‌ها بوده است که این منجر به ریزش‌های بلوکی سـنگ در مناطق بسـیار شـده اسـت بنابراین این ریزش‌های سـنگی بیشتر به دلیل اعمال تکتونیک در بسـتر توسـعۀ کارسـت (پالئوکارسـت) رخ داده‌اند. با انطباق نقشۀ مخاطرات ریزش سنگ ، نقشه تکتنوکارسـت و نقشـه گسل‌های منطقه مشاهده می‌شود که بیشتر کارست‌های منطقه بر روی پهنه‌هایی با خطر بالا و خطر متوسط، در جهت درزه‌های کششی منطقه رخ داده است.

کتابنامه

افراسیابیان، احمد؛ ١٣٧٧. اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران. *مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی*. تهران. کرمانشاه. ٣٥٤ ص.

http://fipak.areeo.ac.ir/ faces/ search/ bibliographic/ biblioBriefView. jspx?_afPfm =-16 w mb8 n9qd

بوسلیک، زهرا؛ چرچی، عباس؛ کشاورزی، محمد رضا؛ احمد نژاد، زینب؛ ١٣٩١. بررسی نقش عوامل ساختاری در ظهور چشمه‌های منطقه کارستی ایذه با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS. *پژوهش‌های دانش زمین*. سال سوم. شماره ١٠. صص ١٦-٣٢

https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088299.1391.3.2.2.7

پیراسته، سعید؛ ١٣٨٥. نقش شکستگی‌ها در توسعه کارست – محدوده تاقدیس پابده از زاگرس چین خورده: کاربرد داده–های ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*. سال سوم. شمارۀ ١١. صص ٤٩-٦٦. https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_5943.html#ar_info_pnl_cite

سناخوان، عطیه؛ پورکرمانی، محسن؛ حاجی حسینلو، حسن؛ حسن‌پورصدقی، محمد؛ ١٣٩١. ارزیابی زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی منطقه نازلو ارومیه، شمالغرب ایران، سی و یکمین همایش علوم زمین. تهران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور https://civilica.com/doc/186946

ولایتی، سعداله؛ خانعلی زاده، فریده؛ ۱۳۹۰. بررسی رابطه ساختارهای تکتونیک و اشکال کارستی (مطالعه موردی حوضه آبریز کارده). *جغرافیا* (فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران). سال نهم. شماره ۳۱. ص ۱۷۱-۱۸۹. https://magiran.com/p951522

Çiftçi, N.B., Bozkurt, E., 2007. Anomalous stress field and active breaching at relay ramps: a field example from Gediz Graben, SW Turkey. Geol. Mag. 144 (4), 687–699. https:// doi.org/ 10.1017/S0016756807003500

Curewitz, D., Karson, J.A., 1997. Structural settings of hydrothermal outflow: fracture permeability maintained by fault propagation and interaction. J. Volcanol. Geotherm. Res. 79 (3–4), 149–168. https://doi.org/10.1016/S0377-0273(97)00027-9

Dockrill, B., Shipton, Z.K., 2010. Structural controls on leakage from a natural CO2 geologic storage site: Central Utah, U.S.A. J. Struct. Geol. 32 (11), 1768–1782. https:// doi.org/ 10.1016/j.jsg.2010.01.007

Fossen, H., Rotevatn, A., 2016. Fault linkage and relay structures in extensional settings—A review. Earth Sci. Rev. 154, 14–28. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.11.014

Haji Hosseinlou, H., (2015). Kinematics of Transpressional Deformation in Urmia Fault Zone, (Northwest Iran). Iranian Journal of Earth Scinces, 7, 59-67. https:// ijes.mashhad.iau.ir/ article_522935.html

Kattenhorn, S.A., Aydin, A., Pollard, D.D., 2000. Joints at high angles to normal fault strike: an explanation using 3-D numerical models of fault-perturbed stress fields. J. Struct. Geol. 22, 1–23. https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00130-3

Nikolaev, PN., 1977. Method of statistical analysis of joints and reconstruction of the tectonic stress fields. J high Schools Geol Prosp Moscow 12:103-115 (in Russian). ISBN: 978-3-662-43992-0

Rotevatn, A., Buckley, S., Howell, J., Fossen, H., 2009. Overlapping faults and their effect on fluid flow in different reservoir types: A LIDAR-based outcrop modeling and flow simulation study. AAPG (Am. Assoc. Pet. Geol.) Bull. 93, 407–427. https:// doi.org/ 10.1306/09300807092

Rowland, J.V., Sibson, R.H., 2004. Structural controls on hydrothermal flow in a segmented rift system, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. Geofluids 4, 259–283. https:// doi.org/ 10.1111/ j.1468-8123.2004.00091.x

Sibson, R.H., 1996. Structural permeability of fluid-driven fault-fracture meshes. J. Struct. Geol. 18, 1031–1042. https://doi.org/10.1016/0191-8141(96)00032-6

Springfield, VT., Rapp, JR., Anders, RB., 1979. Effect of karst and geologic structure on the circulation of water and permeability in carbonate aquifers. U.S. J Hydrol 43: 313-332. https://doi.org/10.1016/0022-1694(79)90178-1